

УДК 621.372

**МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УПРАВЛЯЕМЫХ
НЕВЗАИМНЫХ СВЧ УСТРОЙСТВ**

Д.В.Лаврентьева, А.С.Татаренко

MODELING OF CONTROLLED MAGNETOELECTRIC NONRECIPROCAL MICROWAVE DEVICES

D.V.Lavrent'eva, A.S.Tatarenko

Институт электронных и информационных систем НовГУ, Alexandr.Tatarenko@novsu.ru

Рассмотрена возможность моделирования магнитоэлектрических управляемых невязимных СВЧ устройств. Приведены результаты моделирования магнитоэлектрических СВЧ вентилей на основе слоистой феррит-пьезоэлектрической структуры, реализованных на микрополосковой линии, щелевой линии и копланарном волноводе.

Ключевые слова: *магнитоэлектрические управляемые невязимные СВЧ устройства, феррит-пьезоэлектрический резонатор, щелевая линия, микрополосковая линия, копланарный волновод*

This paper considers the possibility of modeling the controlled magnetoelectric nonreciprocal microwave devices. We presented simulation results for magnetoelectric microwave isolators based on layered ferrite-piezoelectric structure and formed on the slot line, microstrip line, and coplanar waveguide.

Keywords: *controlled magnetoelectric nonreciprocal microwave devices, ferrite-piezoelectric resonator, slot line, microstrip line, coplanar waveguide*

Введение

Появление ферритовых приборов произвело своеобразную революцию в технике СВЧ. Антенно-фидерные устройства, генераторная, приемная, измерительная СВЧ аппаратура содержат в своем составе ферритовые развязывающие приборы, количество которых иногда доходит до сотен в одном устройстве. Без таких развязывающих приборов невозможно создание многокаскадных усилительных схем, а также усилителей, выполненных на активных двухполюсных элементах. Развязывающие приборы значительно упрощают создание фазированных антенных решеток и особенно активных фазированных антенных решеток [1].

Однако в ферритовых невзаимных устройствах управление параметрами реализуется магнитной управляющей системой, поэтому такие устройства имеют низкое быстродействие, высокое энергопотребление и не могут быть изготовлены в интегральном исполнении.

Одним из перспективных направлений развития СВЧ техники в настоящее время является разработка СВЧ магнитоэлектрических (МЭ) устройств. Применение МЭ невзаимных устройств позволяет избавиться от вышеперечисленных недостатков ферритовых устройств. Управление электрическим полем позволяет реализовывать такие устройства в интегральном исполнении, что приводит к уменьшению стоимости устройств; повышает быстродействие; уменьшает мощность, потребляемую в цепи управления; позволяет избавиться от наводок, возникающих при управлении магнитным полем [2]. Управление электрическим полем дает возможность использовать такие устройства в системах автоматического управления и регулирования.

Моделирование МЭ СВЧ невзаимных устройств в современных программах сквозного моделирования, вычисляющих многомодовые S-параметры и электромагнитные поля в трехмерных пассивных структурах, значительно упрощает подбор оптимальных параметров таких устройств: параметров линии передачи (размеров и относительной диэлектрической проницаемости подложки, размеров проводников) и параметров МЭ резонаторов (размеров, формы, материала).

Отличие предлагаемых МЭ невзаимных устройств от ферритовых заключается в замене ферритового резонатора и магнитной управляющей системы на феррит-пьезоэлектрический резонатор и систему электродов, подключенных к источнику управляющего электрического напряжения.

Принцип действия МЭ невзаимных устройств основан на микроволновом МЭ эффекте, заключающемся в сдвиге линии ФМР под действием электрического поля.

Феррит-пьезоэлектрический резонатор (рис.1) представляет собой слоистый композит состава цирконат-титанат свинца (ЦТС) — железо иттриевый гранат (ЖИГ, эпитаксиальные монокристаллические пленки) в форме диска или пластины. Необходимое подмагничивающее поле в объеме МЭ резонатора создается с помощью постоянного магнита, к электродам, нанесенным на пьезоэлектрическую компоненту, подводится управляющее напряжение.

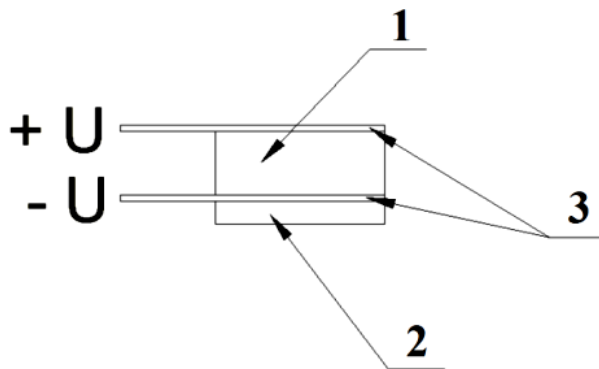


Рис.1. МЭ резонатор: 1 — пьезоэлектрическая компонента; 2 — ферритовая компонента; 3 — металлические электроды

В статье представлены результаты моделирования МЭ СВЧ вентиля, реализованных на микрополосковой линии, щелевой линии и копланарном волноводе.

Моделирование МЭ СВЧ вентиля, реализованного на микрополосковой линии

Основой конструкции МЭ СВЧ вентиля, реализованного на микрополосковой линии, является линия передачи на подложке ФЛАН-10 и МЭ резонатор. В микрополосковой линии распространяется квази-Т волна, область эллиптической поляризации, необходимая для работы невзаимных СВЧ устройств, создается искусственно с помощью двух параллельных разомкнутых на конце шлейфов длиной $\lambda/8$ и $3\lambda/8$. Подмагничивающее поле по направлению шлейфов параллельно резонатору.

Ферритовая фаза МЭ резонатора состоит из пленки ЖИГ толщиной 0,1 мм на подложке гадолиний-галлиевого граната (ГГГ) толщиной 0,44 мм. Пьезоэлектрическая фаза МЭ резонатора состоит из диска ЦТС толщиной 0,5 мм.

Размеры резонатора: диаметр диска — 3 мм, толщина — 0,54 мм. Ширина центрального проводника — 1 мм; относительная диэлектрическая проницаемость подложки — 10, толщина подложки — 1 мм; подмагничивающее поле — 1156 Э.

На рис.2 представлены внешний вид модели МЭ СВЧ вентиля, реализованного на микрополосковой линии передачи, и частотная зависимость затухания в прямом и обратном направлениях.

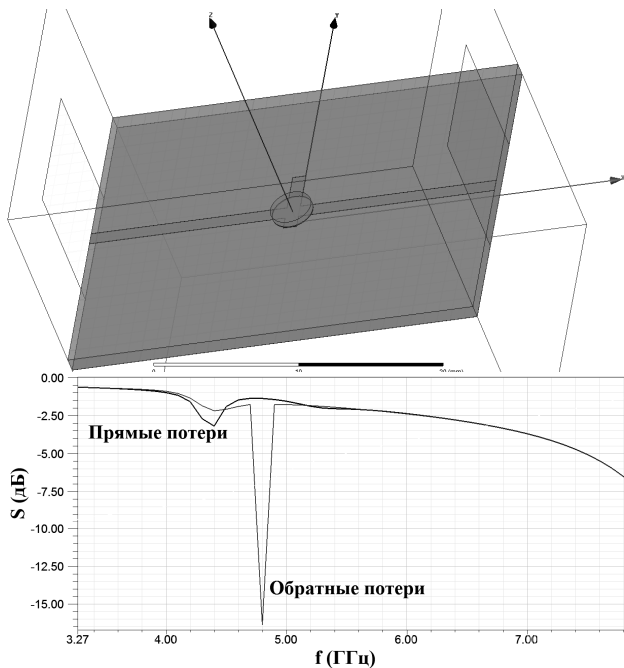


Рис.2. Внешний вид МЭ СВЧ вентиля, реализованного на микрополосковой линии, и зависимость затухания (дБ) от частоты (ГГц)

Моделирование МЭ СВЧ вентиля, реализованного на щелевой линии

Основой конструкции МЭ СВЧ вентиля, реализованного на щелевой линии, является линия передачи на подложке ФЛАН-10 и МЭ резонатор. На обратной стороне подложки металлизация отсутствует, подмагничивающее поле направлено по касательной к плоскости подложки.

Размеры резонатора: $10 \text{ мм} \times 1 \times 0,1 \text{ мм}^3$; ширина щели — 0,2 мм, уширение щели до 1,2 мм; относительная диэлектрическая проницаемость подложки — 10, толщина подложки — 2 мм; подмагничивающее поле — 3142 Э.

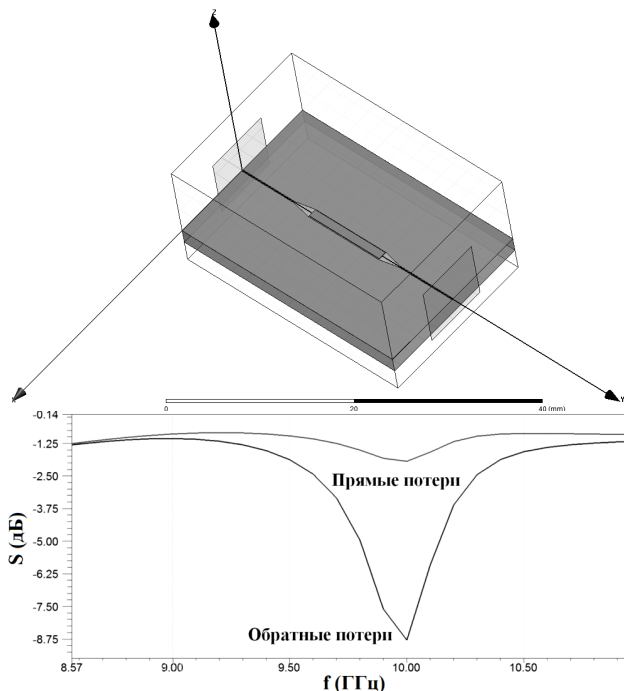


Рис.3. Внешний вид МЭ СВЧ вентиля, реализованного на щелевой линии и зависимость затухания (дБ) от частоты (ГГц)

На рис.3. представлены внешний вид модели МЭ СВЧ вентиля, реализованного на щелевой линии передачи, и частотная зависимость затухания в прямом и обратном направлениях.

Моделирование МЭ СВЧ вентиля, реализованного на копланарном волноводе

Основой конструкции МЭ СВЧ вентиля, реализованного на копланарном волноводе, является волновод на подложке ФЛАН-10 и два МЭ резонатора. На обратной стороне подложки металлизация отсутствует, подмагничивающее поле направлено по касательной.

Размеры резонаторов: $10 \text{ мм} \times 1 \text{ мм} \times 0,1 \text{ мм}$; ширина щели — 0,5 мм, уширение щели до 1,2 мм; ширина центрального проводника — 1,4 мм; относительная диэлектрическая проницаемость подложки — 10, толщина подложки — 1 мм; подмагничивающее поле — 3125 Э.

На рис.4 представлены внешний вид модели МЭ СВЧ вентиля, реализованного на копланарном волноводе, и частотная зависимость затухания в прямом и обратном направлениях.

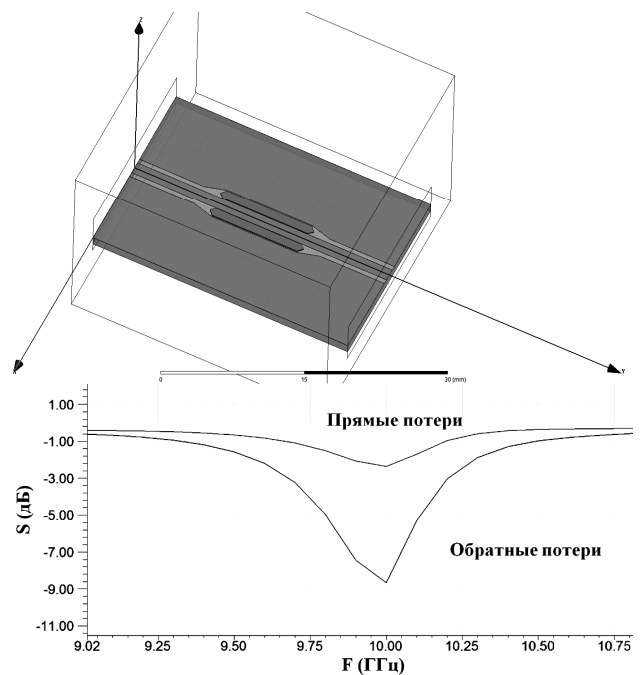


Рис.4. Внешний вид МЭ СВЧ вентиля, реализованного на копланарном волноводе, и зависимость затухания (дБ) от частоты (ГГц)

Сдвиг линии магнитного резонанса при приложении электрического поля определяется как:

$$\delta H_E = H_0(E_2) - H_0(E_1), \quad (1)$$

$$H_0(E) = H_0 + \delta H_E, \quad (2)$$

где H_0 — резонансное магнитное поле при $E = 0$; A — магнитоэлектрический коэффициент; E — прикладываемое постоянное электрическое поле [2].

Заключение

Представлены результаты моделирования различных структур МЭ СВЧ вентилях, реализованных на микрополосковой линии, щелевой линии и копланарном волноводе.

Моделирование МЭ СВЧ невзаимных устройств значительно упрощает подбор оптимальных параметров таких устройств — параметров линии передачи (размеров и относительной диэлектрической проницаемости подложки, размеров проводников) и параметров резонатора (размеров, формы, материала).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ №15-19-10036.

1. Вамберский М. В., Абрамов В. П., Казанцев В. И. Конструирование ферритовых развязывающих приборов СВЧ. М.: Радио и связь, 1982. 136 с.
2. Бичурин М.И., Петров В.М., Филиппов Д.А. и др. Магнитоэлектрические материалы. М.: Академия естествознания, 2006. 296 с.

References

1. Vamberskii M. V., Abramov V. P., Kazantsev V. I. Konstruirovaniye ferritovykh razvazyvaiushchikh priborov SVCh [The design of ferrite decoupling microwave devices]. Moscow, "Radio i svyaz" Publ., 1982. 136 p.
2. Bichurin M.I., Petrov V.M., Filippov D.A., Srinivasan G., Nan S.V. Magnitoelektricheskie materialy [Magnetolectric materials]. Moscow, "Akademiia Estestvoznaniia" Publ., 2006. 296 p.